

UDC 664.38: 664.36:67.014

DOI: 10.15587/1729-4061.2019.178908

**Дослідження окисної стабільності білково-жирової суміші на основі насіння кунжуту та льону для використання у технології халви****А. П. Бєлінська, С. В. Бочкарев, О. О. Варанкіна, В. А. Руднєв, О. В. Звягінцева, І. А. Бєлих, В. В. Хоша, К. Є. Руднєва**

*Проведено аналіз основних методів моделювання рецептур білково-жирових сумішей спеціального призначення. Значну увагу приділено питанню вибору способів стабілізації їх ліпідної складової від окисного псування. Підкреслено актуальність підвищення окисної стабільності білково-жирових сумішей за рахунок природних антиоксидантів, обґрунтовано доцільність комплексних досліджень їх впливу на стабільність до окиснення найбільш лабільних біологічно активних речовин білково-жирових сумішей.*

*Встановлено вміст фуранових антиоксидантів в насінні кунжуту сортів Ілона, Кадет, Боярин, визначено кореляцію між вмістом сезамолу вільного і зв'язаного(сезамоліна). Також досліджено вміст  $\alpha$ -ліноленової кислоти і токоферолів в лляному насінні сортів Південна ніч, Ківіка, Симпатік. Обґрунтовано вибір сортів кунжуту і льону для створення білково-жирової суміші спеціального призначення, що є джерелом поліненасичених жирних кислот  $\omega$ -3 групи і антиоксидантів сезамолу та сезамоліну.*

*Досліджено вплив вмісту сезамоліну і вологості в насінні кунжуту сорту Ілона на стійкість до окиснення його ліпідної складової, отримана математична залежність, що описує такий вплив. Виявлена закономірність збільшення стабільності до окиснення насіння кунжуту при підвищенні його вологості з 4,0 до 9,5 %, що можна пояснити інтенсифікацією гідролізу сезамоліну з виділенням антиоксидантів сезамолу і саміну.*

*Досліджено ефект стабілізації  $\alpha$ -ліноленової кислоти лляного насіння (сорт Південна ніч) в білково-жировій суміші спеціального призначення вільним сезамолом кунжуту. Доведено, що вагомий вплив на процес гальмування окиснення ліпідів білково-жирової суміші спеціального призначення несе раціональне співвідношення  $\omega$ -3 жирних кислот і сезамолу.*

*Методом сенсорної оцінки обґрунтовано вміст білково-жирової суміші спеціального призначення в соняшниковій халві на рівні 20 %, досліджено окисну стабільність, органолептичні і фізико-хімічні показники якості продукту. Визначено, що стабільність до окиснення (і, звісно, прогнозовані терміни зберігання) модельних зразків соняшникової халви залежать від вмісту в них білково-жирової суміші.*

*Ключові слова: кунжут, льон, сезамол, сезамолін,  $\alpha$ -ліноленова кислота, білково-жирова суміш, окисне псування, антиоксиданти, соняшникова халва.*

## **1. Вступ**

Новітнім та перспективним напрямком в олійно-жировій галузі є розробка та виробництво комбінованих продуктів ліпідно-білкового складу спеціального призначення, тобто для харчування окремих верств населення – дітей, спортсменів, вагітних, людей літнього віку і т. ін. Такі білково-жирові суміші (БЖС) відповідають сучасним концепціям нутриціології. Найчастіше сировиною для БЖС є продукти м'ясопереробки, білки молока (казеїн, альбуміни і глобуліни сироватки), продукти переробки сої (соєва мука, ізоляти, концентрати тощо), пшенична клейковина олії та жири різного жирнокислотного складу і т. ін. [1]. Їх застосування дозволяє підприємствам харчової галузі, зокрема кондитерської промисловості, уніфікувати технологію виробництва і розширити асортимент продукції, що випускається[2].

Останнім часом просліджується тенденція заміщення білків тваринного походження у виробництві харчових продуктів на комбіновані рослинні білкові суміші [4, 5]. Використання обумовлене їх технологічними властивостями, під якими розуміють поведінку білків в харчових системах: здатність утворювати емульсії, гелі, піни, поглинати і утримувати жир, воду, грати роль зв'язуючих агентів і т. ін. [6]. Ці напівфабрикати можуть поліпшувати технологічні показники, замінювати дефіцитну тваринну сировину і збагачувати незамінними нутрієнтами продукти харчування (незамінні амінокислоти,  $\omega$ -3 поліненасичені жирні кислоти, вітаміни, мінеральні речовини, каротини, хлорофіли, фітостерини тощо). Але приймаючи до уваги низьку окисну стабільність більшості ліпофільних біологічно активних речовин БЖС, актуальними є дослідження, які спрямовані на підвищення окисної стабільності БЖС за рахунок природних сполук, що мають антиоксидантну активність.

## **2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми**

В роботі [7] наведено результати з розроблення БЖС з жирнокислотним складом ліпідів, зміщеним у бік насичених жирних кислот. Встановлено, що тривалість зберігання продукту довша за контрольний зразок. Причиною цього є значно вища окисна стабільність ліпідної складової. Такий спосіб підвищення строків придатності продукції приховує в собі недолік, бо виключає можливість продукції нести окрім технологічної цінності цінність харчову і біологічну.

В роботах [8, 9] наведено результати з розробки БЖС, що мають збалансоване співвідношення жирних кислот, знижений до природного рівня вміст трансізомерів жирних кислот, а також вміст вітамінів А і Е. Автори пропонують використовувати розроблені суміші як збагачувачі, покращувачі або замітники у виробництві нових або традиційних харчових продуктів, зокрема в продуктах м'ясопереробки і в технології морозива. Недоліком означених розробок можна вважати стабілізацію отриманих харчових систем синтетичними антиоксидантами, зокрема бутилгідрокситолуолом (БОТ) і бутилгідроксианізолом (БОА), тому необхідно проводити пошук натуральних антиокислювачів для стабілізації ненасичених ліпідів БЖС.

В роботі [10] частково вирішена ця проблема, показана можливість стабілізації БЖС ліпідної складової продуктів комплексними антиокислювачами, до

складу яких входять як синтетичні БОА, БОТ, пропілгалат, так і натуральні – токоферолі і аскорбілпальмітат. Слабка сторона такого підходу пов'язана з потенційною токсичністю синтетичних сполук для людського організму.

В роботі [11] описано спосіб підвищення якості жировмісних продуктів шляхом включення до їх складу токоферолу рослинного походження. Встановлено, що це забезпечує збільшення термінів зберігання і підвищення біологічної цінності продуктів. Але варто відзначити, що у виробництві олієжирових продуктів доцільніше використовувати не індивідуальні антиоксиданти, а їх суміші у врахуванням підвищення їх ефективності за рахунок синергітичної взаємодії.

В роботі [12] запропоновано спосіб стабілізації ліпидовмісних харчових продуктів комплексним натуральним антиоксидантом рослинного походження. Завдяки прояву синергізму ефективність подібних сумішей набагато вища, ніж застосування індивідуальних антиоксидантів. Але ж такі добавки мають досить високу вартість, що негативно позначається на собівартості продукції, а значить, зменшується коло її споживачів.

В роботах [13, 14] описано застосування рослинної сировини, що багата на антиоксиданти, у технології БЖС. Розроблено БЖС спеціального призначення, що містить насіння льону, кунжуту, соняшнику, а також рафіновану кукурудзяну олію. Продукт містить  $\omega$ -3 поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК), вітаміни, мікроелементи, стабільний до окиснювального псування за рахунок рослинних антиоксидантів. Крім того, дана БЖС містить незамінні амінокислоти з розгалуженим ланцюгом і може бути рекомендована для харчування спортсменів як джерело ВСАА-амінокислот. Авторами доведено, що обґрунтований компонентний склад БЖС визначає її високу біологічну цінність та подовжений термін придатності. Висока біологічна цінність обумовлюється вмістом у БЖС лляного насіння, що є джерелом  $\omega$ -3 ПНЖК. Подовжений термін придатності продукту забезпечується вмістом насіння кунжуту, що є джерелом фуранових лігнанів, деякі з яких (сезамол, самін) мають антиоксидантні властивості [15, 16]. Крім того, у складі кунжутної олії присутні токоферолі. Як відомо з досліджень [17], сезамол є синергістом токоферолів, а тому ці речовини можна розглядати як комплексний антиоксидант. Крім того, в вищезазначених наукових роботах [13, 14] описано ефекти від додавання розробленої БЖС у кондитерський виріб для раціонального харчування спортсменів – кремові цукерки.

Треба відзначити, що на теперішній час не виявлено щодо залежності термінів зберігання БЖС, що містять насіння кунжуту, від взаємного впливу факторів, що впливають на цей процес. Такими факторами є, наприклад, вміст вільного та звязаного сезамолу кунжуту, вологи та ПНЖК. Відповідно, термін зберігання БЖС безпосередньо пов'язаний з періодом індукції окиснення її ліпідної складової. Це говорить про необхідність проведення досліджень в даному напрямку.

### **3. Мета і задачі дослідження**

Метою роботи є дослідження впливу антиоксидантного комплексу кунжуту на окисну стабільність білково-жирової суміші спеціального призначення. Це дозволить підвищити біологічну цінність БЖС і збільшити термін зберігання.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

– визначити та обрати сировину для БЖС спеціального призначення – сорт кунжуту з найбільш ефективним антиоксидантним комплексом та сорт льону з максимальним вмістом  $\omega$ -3 поліненасичених жирних кислот.

– дослідити вплив вмісту в насінні кунжуту зв'язаного сезамолу (сезамоліну) і вологості на стійкість ліпідної складової насіння до окиснення.

– дослідити ефект стабілізації від окисного псування  $\alpha$ -ліноленової кислоти БЖС спеціального призначення вільним сезамолом кунжутного насіння.

– обґрунтувати рецептуру кондитерського виробу з додаванням БЖС спеціального призначення і визначити його органолептичні та фізико-хімічні показники.

#### **4. Матеріали та методи дослідження впливу антиоксидантів кунжуту на окисну стабільність БЖС спеціального призначення**

##### **4.1. Матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті**

Для проведення досліджень використано такі матеріали:

- насіння кунжуту згідно з ДСТУ 7012;
- насіння льону згідно з ДСТУ 4967;
- цукор-пісок згідно з ДСТУ 4623;
- патока згідно з ДСТУ 4498;
- екстракт мильного кореню згідно з нормативною документацією.

БЖС спеціального призначення є сумішшю підсушеного подрібненого насіння льону і кунжуту в різному співвідношенні. Для розробки кондитерського виробу обрано наступне співвідношення компонентів БЖС: насіння льону –  $50 \pm 2,0$  %; насіння кунжуту –  $50 \pm 2,0$  %.

Фотографії зразків отриманих БЖС наведено на рис. 1.

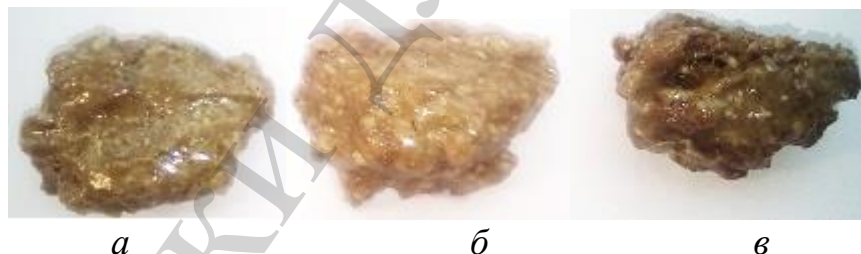


Рис. 1. Фотографії зразків БЖС з різним вмістом складових: *a* – насіння льону – 70 %, насіння кунжуту – 30 %; *б* – насіння льону і насіння кунжуту по 50 %; *в* – насіння льону – 30 %, насіння кунжуту – 70 %

Подрібнення насіння проводили на ножовому вертикальному подрібнювачі моделі *Glasser* (частота обертів 7000...10 000 об./хв.). Отримана суміш має консистенцію густої пасти. Ножовий вертикальний подрібнювач моделі *Glasser* дозволяє подрібнювати сировину до діаметру часточок 150...200 мкм.

##### **4.2. Методика визначення вмісту антиоксидантів в олійному насінні**

Для визначення жиророзчинних антиоксидантів в олійному насінні попередньо проведено екстракцію ліпідів з олійної сировини. Вміст токоферолу в ліпідах насіння проведено спектрофотометричним методом. Аналіз ліпідів на-

сіння, що містить сезамол вільний, включає екстракцію сезамолу з олії водним розчином луку, проведення колориметричної реакції з водною сірчаною кислотою у присутності фурфуролу і власне спектрофотометричне визначення. Аналіз ліпідів насіння, що містить сезамол зв'язаний (сезамолін), проводиться в розчині олії, що залишилася після виділення з неї вільного сезамолу. Аналіз включає вимірювання спектру поглинання розчину олії в інтервалі 250–320 нм. Сезамолін не дає пурпурно забарвленого продукту колориметричної реакції з вказаними реактивами.

#### **4. 3. Методика визначення вмісту води в олійному насінні**

Визначення вологості кунжутного насіння проведено за стандартною методикою. Суть методу полягає в зневодненні наважки подрібненого насіння в повітряно-тепловій шафі при фіксованих параметрах (температурі – 110 °C і тривалості сушіння – 10 хв.) і визначенні втрат її маси.

#### **4. 4. Методика визначення стабільності до окиснення олійного насіння, БЖС і модельних зразків соняшникової халви**

Дослідження окиснювальної стабільності подрібненого насіння льону, і кунжуту, а також їх сумішей проведено прискореним методом «активного кисню». Даний метод заснований на експозиції подрібненого насіння за постійної підвищеної температури та визначенні через певні проміжки часу ступеня окиснення олії в ньому, який характеризується величиною пероксидного числа. У бюксу вносили 50 г зразка, що досліджувався, та ставили в сушильну шафу, прогріту до температури  $85 \pm 2$  °C. Зразки подрібненого насіння для визначення пероксидного числа (ПЧ) відбирали шпателем у кількості  $5,0 \pm 0,02$  г в попередньо зважену колбу з пришліфованою пробкою, після охолодження зразка колбу повторно зважували. За різницею знаходили масу відібраної проби, яку використано для визначення показників окиснення. Олію екстрагували та вимірювали показник ПЧ. Окиснення олій проведено до ПЧ 10 ммоль  $\frac{1}{2}$  О/кг, зважаючи на недоцільність подальшого окиснення. Значення періоду індукції визначали графічно за кривими зростання пероксидних чисел.

#### **4. 5. Методика визначення вмісту $\alpha$ -ліноленової кислоти в олійному насінні**

Визначення жирнокислотного складу олій, вилучених за допомогою екстракції з олійного насіння проведено за стандартним методом газорідинної хроматографії на хроматографі *Shimadzu* (Японія). Температура випарника – 240 °C; температура детектора – 250 °C; швидкість газу-носія (водню) – 1,0 мл/хв., ділення потоку – 1:60. Ідентифікацію жирних кислот проводили по порівнянню їх часу утримування з часом утримування еталонних зразків. Вміст жирних кислот, зокрема  $\alpha$ -ліноленової, розраховано у відсотках від їх загальної суми.

#### **4. 6. Методика отримання соняшникової халви**

Отримання соняшникової халви включає в себе наступні стадії: отримання карамельної маси з цукру-піску і патоки, отримання збитої карамельної маси з

вихідної карамельної маси та екстракту мильного кореню, і, власне вимішування збитої карамельної маси з масою обсмажених розтертих ядер соняшнику, до яких додається задана кількість БЖС спеціального призначення.

#### **4. 7. Методика дослідження показників якості соняшникової халви**

Сенсорну оцінку модельних зразків халви виконували експерти згідно з ISO 8586-1 і ISO 8586-2. Нюхову, смакову, дотикову чутливість експертів визначали згідно з ISO 5496: 1992, ISO 3972: 1991 і ISO 11036. При сенсорній оцінці використовували спеціальну систему бальних оцінок, які кількісно виражають ряд показників якості досліджуваних зразків халви. Органолептичну оцінку модельних зразків халви визначено згідно з ДСТУ 4188. Масову частку вологи в зразках халви визначено згідно з ГОСТ 5900, масову частку жиру – згідно з ГОСТ 5899, масову частку загального цукру – за ГОСТ 5903.

#### **4. 8. Планування експериментів та статистична обробка результатів досліджень**

Для планування експерименту і обробки даних застосовані математичні методи з використанням програмних пакетів *Microsoft Office Excel 2003 (USA)* та *Stat Soft Statistica v6.0 (USA)*. Для дослідження залежності періоду індукції окиснення ліпідів зразків олійного насіння і БЖС за температури  $85 \pm 2$  °C від вмісту в ній сезамолу вільного і зв'язаного (сезамоліну),  $\alpha$ -ліноленової кислоти і масової частки вологи використовували трирівневий план для двохфакторної функції відгуку. Дослідження проводили в трикратному повторенні. При заданому ступеню ймовірності  $P=95$  %, відносна похибка не перевищувала:

- при визначенні токоферольної фракції ліпідів насіння – 2 %;
- при визначенні вмісту вільного і зв'язаного сезамолу в насінні – 4 %;
- при визначенні жирнокислотного складу ліпідів насіння – 0,5 %;
- при визначенні пероксидного числа ліпідів насіння та БЖС – 4 %;
- при визначенні періодів індукції окиснення ліпідів насіння та БЖС – 5 %;
- при визначенні масової частки вологи насіння і соняшникової халви – 0,25 %;
- при визначенні масової частки жиру соняшникової халви – 0,5 %;
- при визначенні масової частки цукру соняшникової халви – 1 %.

### **5. Результати дослідження впливу антиоксидантів кунжуту на окисну стабільність БЖС спеціального призначення**

#### **5. 1. Дослідження цільових компонентів сировини для БЖС спеціального призначення**

Досліджено зразки насіння кунжуту сортів Ілона, Кадет, Боярин з метою визначення вмісту токоферолів і специфічного антиоксиданту сезамолу – вільного та зв'язаного (сезамоліну). Результати представлено в табл. 1.

Встановлено, що в насінні кунжуту токоферолу від 30,2 мг/100 г ліпідів (сорт Кадет) до 36,0 мг/100 г ліпідів (сорт Боярин). Найбільша кількість вільного і зв'язаного сезамолу зафіксована в сорті Ілона – 15,3 мг/100 г сезамолу і 1130 мг/100 г сезамоліну.

Встановлено кореляційний зв'язок між вмістом сезамолу вільного і сезамолу зв'язаного в насінні кунжуту різних сортів, графічно це представлено на рис. 2. Рівняння, яке описує таку залежність, наступне:

$$c_{sn}(c_{sl})=79,428 \cdot c_{sl} + 4,672, (R=1) \quad (1)$$

де  $c_{sl}$  – вміст сезамолу вільного в зразках кунжутного насіння, мг/100 г (інтервалі  $c_{sl}=10,1 \dots 15,3$  мг/100 г);  $c_{sn}$  – вміст сезамолу зв'язаного (сезамоліну) в зразках кунжутного насіння, мг/100 г (інтервалі  $c_{sn}=880 \dots 1130$  мг/100 г).

Таблиця 1

Вміст антиоксидантів в насінні кунжуту різних сортів

Сорт кунжуту	Токофероли, мг/100 г ліпідів	Сезамол, мг/100 г ліпідів	
		вільний	зв'язаний (сезамолін)
Ілона	35,5	15,3	1130
Кадет	30,2	10,1	880
Боярин	36,0	12,6	1050

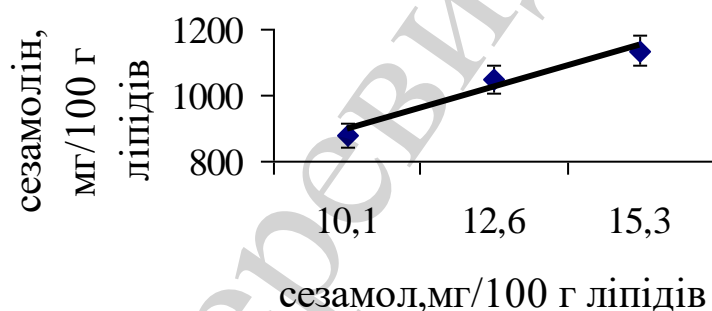


Рис. 2. Залежність вмісту зв'язаного сезамолу (сезамоліну) від вмісту сезамолу вільного в зразках насіння кунжуту різних сортів

Досліджено зразки насіння льону сортів Південна ніч, Ківіка, Симпатік з метою визначення вмісту  $\alpha$ -ліноленової кислоти (поліненасичена жирна кислота  $\omega$ -3 групи) і антиоксидантів токоферолів. Результати представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Вміст  $\alpha$ -ліноленової кислоти і токоферолів в насінні льону різних сортів

Сорт льону	Вміст $\alpha$ -ліноленової кислоти, % від суми жирних кислот	Токофероли, мг/100 г ліпідів
Південна ніч	55,9	40,7
Ківіка	50,3	38,1
Симпатік	54,1	35,9



Встановлено, що в лляному насінні міститься токоферолу від 35,9 мг/100 г ліпідів (сорт Симпатік) до 40,7 мг/100 г ліпідів (сорт Південна ніч). Найбільша кількість  $\alpha$ -ліноленової кислоти зафіксована в сорті Південна ніч – 55,9 %. Варто відмітити, що чим більший вміст  $\alpha$ -ліноленової кислоти в зразках насіння льону, тим більший вміст в них токоферолів.

## 5. 2. Дослідження впливу фізико-хімічного складу насіння кунжуту на стійкість до окиснення

На наступному етапі роботи досліджено зміну періоду індукції окиснення ліпідів подрібненого насіння кунжуту обраних сортів з різним вмістом вологи. Результати досліджень наведено на рис. 3.

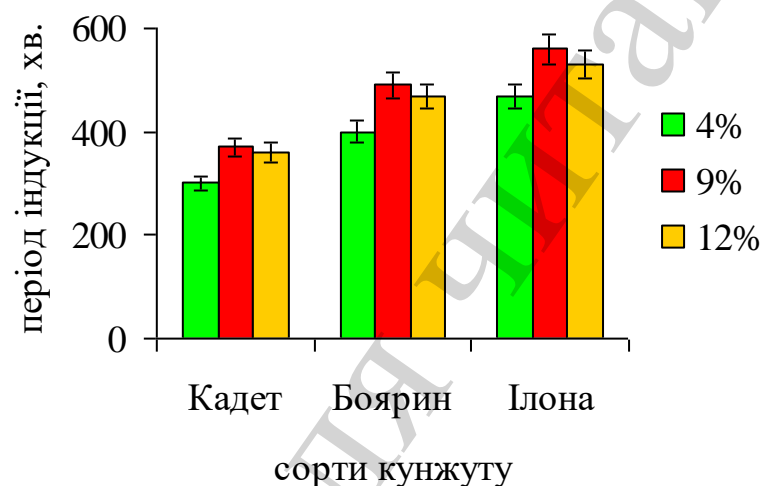


Рис. 3. Динаміка зміни періоду індукції окиснення ліпідів насіння кунжуту з різною вологістю

Відомо, що при збільшенні вологості жировмісної сировини інтенсифікуються процеси окисного псування, що призводить до зменшення періоду індукції окиснення ліпідів. Але у випадку підвищення вологості зразків кунжутного насіння усіх сортів спостерігається інша закономірність. Як видно з рисунку 3, збільшення вмісту вологи в зразках кунжутного насіння з 4 до 9 % призводить до збільшення періоду індукції окиснення ліпідів, при збільшенні вологості насіння з 9 до 12 % період індукції ліпідів практично не зменшується. Виявлено, що найбільшою окисною стабільністю характеризується насіння кунжуту сорту Ілона (560 хв. за вологості 9 %).

Для визначення залежності періоду індукції окиснення ліпідів зразків кунжутного насіння сортів Ілона, Кадет, Боярин за температури  $85 \pm 2$  °C від вмісту сезамолу зв'язаного (сезамоліну) і масової частки вологи обрано метод багатфакторної регресії з побудовою поверхонь відгуку. Для побудови моделі використовували метод повного факторного експерименту. Вміст сезамолу зв'язаного (сезамоліну) в зразках кунжутного насіння варіювали в інтервалі 880...1130 мг/100 г з кроком 125 мг/100 г. Масову частку вологи в зразках кун-



жутного насіння варіювали в інтервалі 4,0...12,0 % з кроком 4 %. Отримані значення періоду індукції окиснення ліпідів зразків кунжутного насіння знаходилися в межах 300...560 хв. Поверхню цієї залежності представлено на рис. 4.

Отримане за допомогою математичної обробки експериментальних даних рівняння моделі двофакторної поліноміальної регресії другого степеня, що описує дану залежність, має вигляд:

$$\tau_i(c_{sn}, WC) = -2131,4 + 4 \cdot c_{sn} + 53,2 \cdot WC - 0,002 \cdot c_{sn} \cdot WC - 2,92 \cdot WC^2, R^2 = 0,91 \quad (2)$$

де  $\tau_i(c_{sn}, WC)$  – період індукції прискореного окиснення зразків кунжутного насіння при 85 °С, хв.;  $c_{sn}$  – вміст сезамолу зв’язаного (сезамоліну) в зразках кунжутного насіння, мг/100 г (інтервалі  $c_{sn} = 880...1130$  мг/100 г);  $WC$  – масова частка вологи в зразках кунжутного насіння, % (в інтервалі  $WC = 4,0...12,0$  %).

Коефіцієнти даного рівняння регресії визначали, використовуючи метод найменших квадратів. Значущість окремих коефіцієнтів регресії здійснювали за допомогою критерію Стюдента ( $t$ ) шляхом перевірки гіпотези про рівність нулеві відповідного параметра рівняння. Розраховане абсолютне значення критерію Стюдента  $t(6)$  при оцінці окремих коефіцієнтів регресії порівнювали з його критичним табличним значенням  $t_{\text{табл}}(6) = 2,45$  при рівні значущості  $p = 0,05$  і числі ступеней вільності для множинної регресії  $df = 6$ . Якщо розраховане абсолютне значення критерію Стюдента було більшим за його критичне табличне значення, то нульову гіпотезу відхиляли та при імовірності 0,95 (або 95 %) визнавали значення відповідного коефіцієнта рівняння регресії суттєвим, в протилежному випадку – коефіцієнт регресії визнавали незначущим та виключали з рівняння. Дані та висновки щодо визначення значущості коефіцієнтів рівняння регресії наведено в табл. 3.

Таблиця 3.

Дані та висновки щодо визначення значущості коефіцієнтів рівняння регресії (2)

Коефіцієнт рівняння регресії при	Значення коефіцієнту в натуральних величинах	$t(6)$	$t_{\text{табл}}(6)$	Розрахункова імовірність нульової гіпотези для коефіцієнту рівняння регресії ( $p$ -level)	Висновок про значущість коефіцієнту
<i>Intercept</i>	-2131,4	-3,26820	2,45	0,017073	Значущий
$c_{sn}$	4	7,19402		0,000365	Значущий
$WC$	53,2	2,91529		0,026795	Значущий

Для оцінювання якості моделі та повноти впливу обраних факторів визначали коефіцієнт детермінації  $R^2$ . Отримане значення  $R^2 = 0,91$  дозволяє зробити висновок про вельми значний вплив (більший за 91 %) варіацій вмісту сезамолу зв’язаного (сезамоліну) і масової частки вологи на варіації періоду індукції окиснення ліпідів досліджуваних зразків кунжутного насіння. Для встановлення значущості моделі регресії розраховували критерій Фішера ( $F$ ), виходячи з припущення, що рівняння статистично незначиме ( $R^2 = 0$ ; нульова гіпотеза). Розраховане значення критерію Фішера становило  $F(2, 6) = 30,13$  і було більшим за його

го критичне табличне значення  $F_{\text{табл}}(2, 6)=5,14$  при рівні значущості  $p=0,05$  і числі ступеней вільності  $df_1=2$  та  $df_2=6$ . Даний результат дозволяє відхилити нульову гіпотезу та при імовірності 0,95 (або 95 %) визнати значення коефіцієнта детермінації  $R^2=0,91$  суттєвим, а модель – значущою.

Виходячи з отриманих результатів, можна констатувати наявність закономірності збільшення періоду індукції окиснення БЖС при підвищенні вмісту води з 4,0 до 9,5 %. Це можна пояснити інтенсифікацією гідролізу сезамолу зв'язаного. Але при подальшому підвищенні вмісту води з 9,5 до 12,0 % простежується зменшення періоду індукції окиснення ліпідів БЖС, що можна пояснити підвищенням швидкості гідролізу тригліцеринів з утворенням і відповідно більш швидким окисненням вільних жирних кислот.

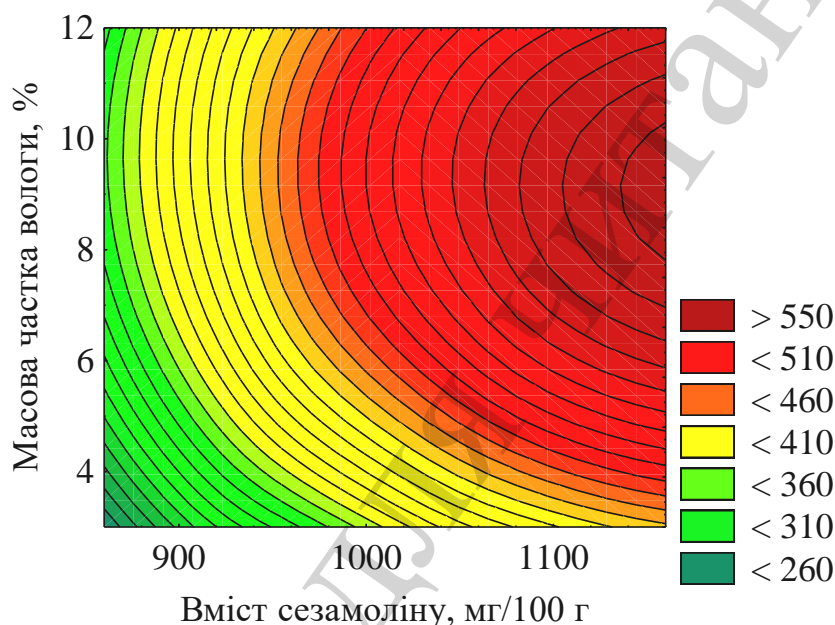


Рис. 4. Залежність періоду індукції окиснення ліпідів зразків кунжутного насіння від вмісту сезамолу зв'язаного (сезамоліну) та масової частки води

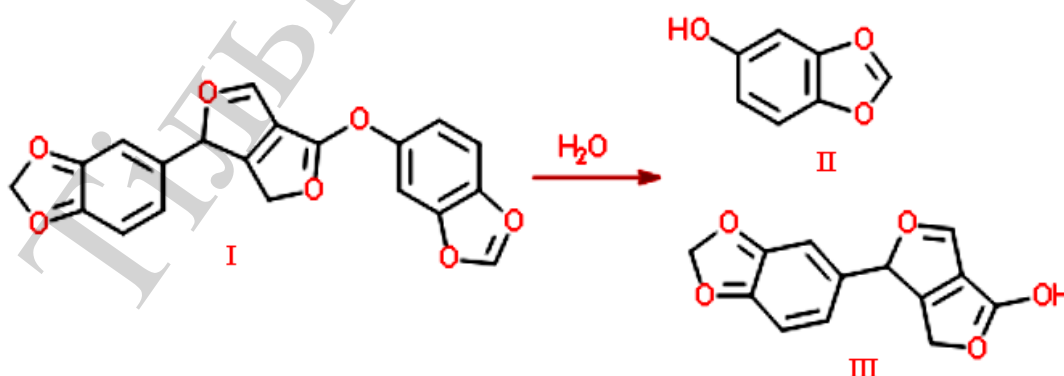


Рис. 5. Схема гідролізу сезамолу зв'язаного (сезамоліну) (І) з виділенням сезамолу вільного (ІІ) і саміну (ІІІ)

Як видно з рис. 5, гідроліз сезамолу зв'язаного (сезамоліну) супроводжується виділенням речовин з антиоксидантною активністю (донорів протонів) – сезамолу вільного і саміну, що чинять гальмуючий вплив на окиснення ліпідів.

### 5.3. Дослідження ефекту стабілізації $\alpha$ -ліноленової кислоти в БЖС спеціального призначення вільним сезамолом кунжуту

Відомо, що  $\omega$ -3 поліненасичені жирні кислоти (так званий вітамін F) є вкрай дефіцитними для організму. Їх біологічну цінність складно переоцінити [3, 5, 15], але стабільність до окисного пчування цих сполук вкрай низька. Тому проведено дослідження взаємного впливу вмісту антиоксиданту сезамолу кунжуту та  $\alpha$ -ліноленової кислоти лляного насіння на період індукції БЖС спеціального призначення (джерела  $\omega$ -3 поліненасичених жирних кислот). Як відомо, період індукції жировмісних продуктів пропорційний їхньому термінові зберігання.

Для визначення залежності періоду індукції окиснення ліпідів зразків БЖС при температурі  $85 \pm 2$  °C від вмісту в ній антиоксиданту сезамолу та  $\alpha$ -ліноленової кислоти обрано метод багатофакторної регресії з побудовою поверхонь відгуку. Для побудови моделі використовували метод повного факторного експерименту. Вміст сезамолу вільного в зразках БЖС варіювали в інтервалі 0...15,3 мг/100 г. Масову частку  $\alpha$ -ліноленової кислоти в зразках БЖС варіювали в інтервалі 0,1...55,9 % від суми жирних кислот. Отримані значення періоду індукції окиснення ліпідів зразків кунжутного насіння знаходилися в межах 65...475 хв. Отримане за допомогою математичної обробки експериментальних даних рівняння моделі двофакторної поліноміальної регресії другого степеня, що описує дану залежність, має вигляд:

$$\tau_i(c_{sl}, c_{la}) = 135,71 + 26,38 \cdot c_{sl} - 1,43 \cdot c_{la} - 0,26 \cdot c_{sl}^2 - 0,29 \cdot c_{sl} \cdot c_{la} + 0,003 \cdot c_{la}^2, R^2 = 0,98, \quad (3)$$

де  $\tau_i(c_{sl}, c_{la})$  – період індукції прискореного окиснення БЖС при 85 °C, хв.;  $c_{sl}$  – вміст сезамолу вільного в БЖС, мг/100 г (в інтервалі  $c_{sl} = 0,00 \dots 7,65$  мг/100 г);  $c_{la}$  – вміст  $\alpha$ -ліноленової кислоти, % від суми жирних кислот ( в інтервалі  $c_{la} = 0,1 \dots 55,9$  % від суми жирних кислот).

Коефіцієнти даного рівняння регресії визначали, використовуючи метод найменших квадратів. Значущість окремих коефіцієнтів регресії здійснювали за допомогою критерію Стюдента ( $t$ ) шляхом перевірки гіпотези про рівність нулеві відповідного параметра рівняння. Розраховане абсолютне значення критерію Стюдента  $t(9)$  при оцінці окремих коефіцієнтів регресії порівнювали з його критичним табличним значенням  $t_{\text{табл}}(9) = 2,26$  при рівні значущості  $p = 0,05$  і числі ступеней вільності для множинної регресії  $df = 9$ . Якщо розраховане абсолютне значення критерію Стюдента було більшим за його критичне табличне значення, то нульову гіпотезу відхиляли та при імовірності 0,95 (або 95 %) визнавали значення відповідного коефіцієнта рівняння регресії суттєвим, в протилежному випадку – коефіцієнт регресії визнавали незначущим та виключали з рівняння. Дані та висновки щодо визначення значущості коефіцієнтів рівняння регресії наведено в табл. 4.

Таблиця 4.

Дані та висновки щодо визначення значущості коефіцієнтів рівняння регресії (3)

Коефіцієнт рівняння регресії при	Значення коефіцієнту в натуральних величинах	$t(9)$	$t_{\text{табл}}(9)$	Розрахункова імовірність нульової гіпотези для коефіцієнту рівняння регресії ( $p$ -level)	Висновок про значущість коефіцієнту
<i>Intercept</i>	135,71	11,48667	2,45	0,000001	Значущий
$c_{sl}$	26,38	16,27938		0,000000	Значущий
$c_{la}$	-1,43	-535396		0,000460	Значущий

Для оцінювання якості моделі та повноти впливу обраних факторів визначали коефіцієнт детермінації  $R^2$ . Отримане значення  $R^2=0,98$  дозволяє зробити висновок про вельми значний вплив (більший за 98 %) варіацій вмісту сезамолу вільного і масової частки  $\alpha$ -ліноленової кислоти на варіації періоду індукції окиснення ліпідів досліджуваних зразків БЖС. Для встановлення значущості моделі регресії розраховували критерій Фішера ( $F$ ), виходячи з припущення, що рівняння статистично незначиме ( $R^2=0$ ; нульова гіпотеза). Розраховане значення критерію Фішера становило  $F(2, 9)=240,74$  і було більшим за його критичне табличне значення  $F_{\text{табл}}(2, 9)=4,26$  при рівні значущості  $p=0,05$  і числі ступеней вільності  $df_1=2$  та  $df_2=9$ . Даний результат дозволяє відхилити нульову гіпотезу та при імовірності 0,95 (або 95 %) визнати значення коефіцієнта детермінації  $R^2=0,98$  суттєвим, а модель – значущою.

Поверхню залежності періоду індукції окиснення БЖС на основі насіння льону та кунжуту від вмісту сезамолу і  $\alpha$ -ліноленової кислоти при температурі  $85\pm 2$  °C представлено на рис. 6.

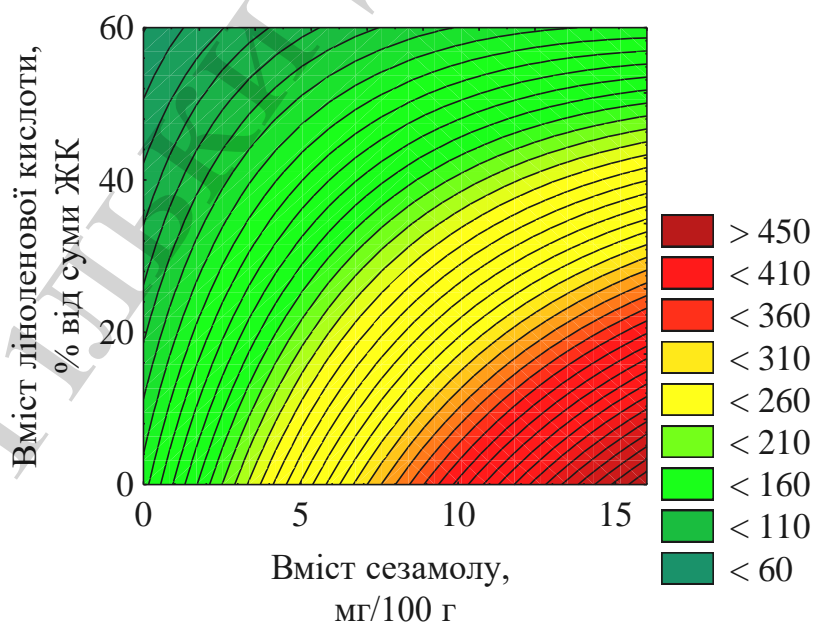


Рис. 6. Залежність періоду індукції окиснення ліпідів БЖС на основі насіння льону та кунжуту від вмісту в ній сезамолу і  $\alpha$ -ліноленової кислоти

Графік на рис. 6 ілюструє взаємний вплив антиоксиданту сезамолу і  $\alpha$ -ліноленової кислоти на величину періоду індукції окиснення ліпідів БЖС на основі насіння льону та кунжуту різного співвідношення компонентів.

#### 5. 4. Обґрунтування рецептури халви з БЖС спеціального призначення і дослідження її показників якості

Наступний етап досліджень присвячений розробці рецептури кондитерського виробу з додаванням БЖС спеціального призначення (зразок 2, рис. 1). Вказане співвідношення компонентів (насіння льону і насіння кунжуту – по 50 %) робить продукт джерелом  $\alpha$ -ліноленової поліненасиченої жирної кислоти ( $23,0 \pm 0,7$  % від суми жирних кислот), які стабілізовано від окисного псування ефективною концентрацією сезамолу вільного ( $10,0 \pm 0,3$  мг/100 г). Таку БЖС можна вживати як у повсякденному харчуванні, так і у складі кондитерських виробів для раціонального харчування спортсменів, працівників важкої фізичної праці (наприклад, шахтарів, геологів), військовослужбовців. Вибір зупинено на соняшниковій халві. Зазвичай цей продукт вживають під час чаювання, і його складові (не тільки вуглеводи, але й білки з диспергованими ліпідами, вітамінами, мінеральними речовинами тощо) потрапляють до організму у вигляді теплового концентрованого водного розчину. Це пришвидшує їх метаболізм в організмі. Завдяки високій енергетичній цінності халви (більш ніж 520 ккал/100 г) спортсмени часто включають її до складу перекусів між тренуваннями та стартами між змаганнями. Тому має сенс збільшити біологічну цінність цього кондитерського виробу за рахунок введення до його складу поліненасичених жирних кислот  $\omega$ -3 групи, стабілізованих комплексом природних антиоксидантів. Рецептурний склад модельних зразків соняшникової халви з БЖС наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Рецептурний склад модельних зразків соняшникової халви з різним вмістом БЖС

Найменування компоненту	Витрата сировини, кг в натурі			
	а	б	в	г
соняшникова маса	510,0	460,0	410,0	310,0
БЖС	—	100	200	300
патока	330,0	330,0	330,0	330,0
цукор-пісок	150,7	150,7	150,7	150,7
екстракт мильного кореню	9,0	9,0	9,0	9,0
ванілін	0,3	0,3	0,3	0,3
Всього, %	1000,0			

Фотографії модельних зразків соняшникової халви наведено на рис. 7.

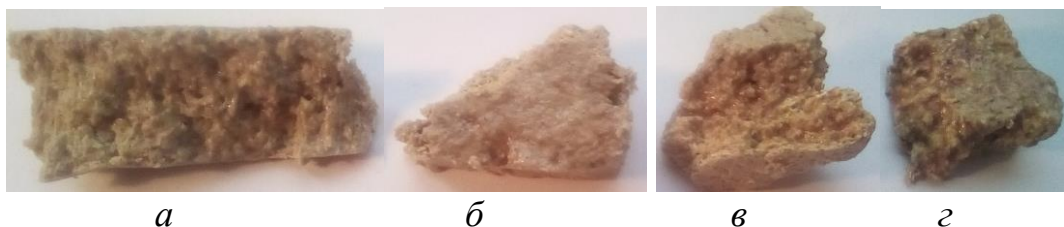


Рис. 7. Фотографії модельних зразків соняшникової халви: *а* – без додавання БЖС; *б* – вміст БЖС – 10 %; *в* – вміст БЖС – 20 %; *г* – вміст БЖС – 30 %

Отримані модельні зразки халви піддавали термічному окисненню за температури  $85 \pm 2$  °С. Періоди індукції окиснення ліпідної складової зразків халви представлено на рис. 8.

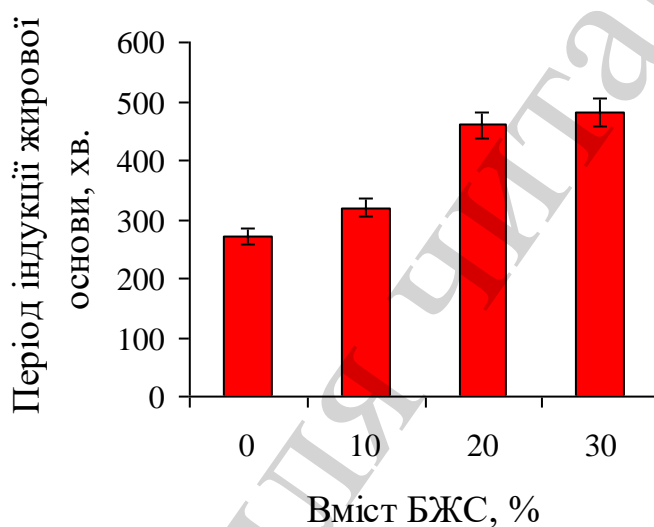


Рис. 8. Періоди індукції окиснення модельних зразків соняшникової халви за температури  $85 \pm 2$  °С

З діаграми на рис. 8 видно, що окиснення ліпідної складової зразків халви значно гальмується за умови вмісту БЖС від 20 до 30 % (період індукції окиснення 460 і 480 хвилин порівняно з 270 хвилинами контрольного зразку).

Проведено сенсорну оцінку органолептичних показників модельних зразків халви, в ході якої продукцію оцінювали за такими показниками як зовнішній вигляд, смак, запах, консистенція і вид у розломі. Результати сенсорної оцінки відображені в профілографі, яка представлена на рис. 9.

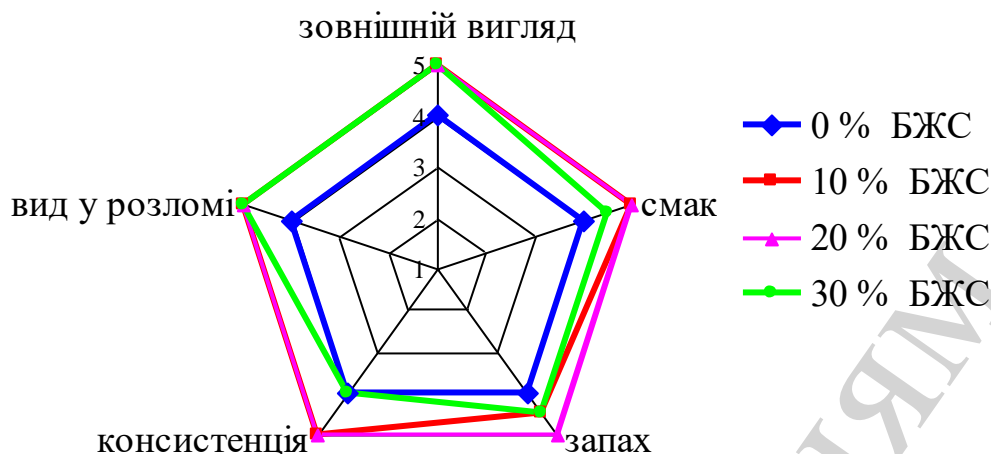


Рис. 9. Профілограма органолептичних показників модельних зразків соняшникової халви з додаванням різної кількості БЖС

Аналіз профілограм органолептичних показників зразків халви показав перевагу зразка, що містить 20 % БЖС, переважно за показниками смак, запах та вид у розломі (5 балів проти 4...4,5 балів). Зокрема, в зразках халви з вмістом БЖС 20 і 30 % проявляється пікантний горіховий аромат і смак, який характерний для насіння кунжута. Але в зразку з 30 % БЖС знижується оцінка за показниками смаку (відчуття «мучнистості»), запаху («рибний» запах), консистенція («мучниста»). Таким чином, результати профілограм підтверджують вибір вмісту БЖС в соняшниковій халві на рівні 20 %.

Досліджено фізико-хімічні показники модельного зразка халви з додаванням БЖС у кількості 20 % у порівнянні зі зразком халви без БЖС. Дані представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Фізико-хімічні показники досліджуваних модельних зразків халви

Фізико-хімічні показники	Конфетная масса		
	Контрольний зразок (0 % БЖС)	Зразок з 20 % БЖС	Норма згідно ДСТУ 4188
Масова доля вологи, %	3,40	3,15	небільше 4 %
Масова доля жиру, %	32,80	32,60	28 – 34 %
Масова доля загального цукру в перерахунку на сахарозу, %	42,70	42,30	25 – 45 %

Як видно з таблиці 4, за фізико-хімічними показниками зразок халви з БЖС не відрізняється від контрольного і відповідає вимогам нормативної документації.



## **6. Обговорення результатів дослідження впливу антиоксидантів кунжуту на окисну стабільність БЖС спеціального призначення**

Результати досліджень зразків насіння кунжуту вітчизняних сортів (Ілона, Боярин і Кадет) свідчать про досить високий вміст токоферолів, сезамолу і сезамоліну. Включення в щоденний раціон харчування продуктів із насіння кунжуту, багатих на токоферолі, сприятиме підвищенню антиоксидантного статусу організму. Вочевидь включення кунжутного насіння як сировини до БЖС спеціального призначення є фактором регулювання строків придатності продукту, завдяки ефективному антиоксидантному комплексові. Аналізуючи антиоксидантний склад насіння кунжуту, видно, що між зразками різних сортів кунжуту за приблизно однаковому вмісту токоферолів, спостерігається значний розбіг вмісту вільної та зв'язаної форм сезамолу. З огляду на вищесказане, як сировину для БЖС спеціального призначення обрано сорт кунжуту Ілона як той, що має найбільш ефективний антиоксидантний комплекс.

Аналіз періодів індукції окиснення ліпідів насіння кунжуту за різної вологості, з різним вмістом вільного та зв'язаного сезамолу і  $\alpha$ -ліноленової полі ненасиченої жирної кислоти дозволяє стверджувати наступне:

- підвищення вмісту води в БЖС, що містять кунжутне насіння, грає двояку роль – з одного боку, інтенсифікується процес гідролізу триацилгліцеринів, що ініціює їх окисне псування, а з іншого боку, прискорюється процес виділення антиоксидантів – вільного сезамолу і саміну з сезамоліну (рис. 5), дія яких призводить до гальмування процесу окиснення ліпідів БЖС. Це може внести певні корективи у технологічний процес виробництва та зберігання продукту;

- суттєвий вплив на процес виробництва і зберігання БЖС з кунжутним насінням здійснює саме раціональне зволоження сировини. Це буде забезпечувати пролонговане вивільнення комплексу антиоксидантів (рис. 5) для гальмування окиснення лабільних біологічно активних сполук в продукті;

- вагомий вплив на процес гальмування окиснення ліпідів БЖС спеціального призначення несе саме правильне варіювання вмісту  $\omega$ -3 жирних кислот і сезамолу в продукті.

Ці висновки можуть бути доцільними з практичної точки зору, так як дозволяють обгрунтовано підходити до визначення співвідношення компонентів в БЖС. З теоретичної точки зору доцільність висновків полягає у визначенні принципової можливості процесу гідратації сполуки-проантиоксиданта в БЖС з утворенням активних антиоксидантів (рис. 5). Це є перевагами дослідження. Однак варто відмітити, що аналіз математичної залежності (1) вказує на неоднозначний вплив вмісту води на окисну стабільність продукту. В рамках даного дослідження ця неоднозначність не вирішена. Це є завданням подальшого дослідження, яке, зокрема, має бути орієнтоване на виявлення рівноважної величини вологості системи. В цій точці швидкість гальмування процесу окиснення сезамолом і саміном, утворених в результаті гідролізу сезамоліну, дорівнює швидкості окиснення вільних жирних кислот, утворених в результаті гідролізу триацилгліцеринів. Результати такого дослідження дозволять значно раціоналізувати процеси збереження сировини і готової продукції. Отримані дані

мають представляти інтерес для підприємств як олієжирових, так і кондитерських, що виробляють БЖС і кондитерські вироби з її додаванням.

Аналізуючи результати експерименту (рис. 4, 6, рівняння (3), (4)), обрано раціональні концентрації біологічно активних сполук у БЖС спеціального призначення. Вони є наступними: вміст  $\alpha$ -ліноленової поліненасиченої жирної кислоти 20...23 % від суми жирних кислот, сезамолу вільного – 10...12 мг/100 г, сезамолу зв'язаного (сезамоліну) – 740...890 мг/100 г. Співвідношення компонентів при цьому таке: насіння льону – 35...50 %, насіння кунжуту – 50...65 %.

Проведеними дослідженнями встановлено, що антиоксидантний комплекс насіння кунжуту чинить стабілізуючу дію на ліпідну складову продукту з додаванням БЖС. На рис. 8 видно, що стабільність до окиснення (і, звісно, прогнозовані терміни зберігання) модельних зразків соняшникової халви залежать від вмісту в них БЖС. Період індукції ліпідів соняшникової халви з 10 % БЖС перевищує такий у контрольного зразка всього лише на 19 %, зате періоди індукції цукеркових мас, що містять 20 % і 30 % добавки, перевищують контрольний вже на 70 % і 78 % відповідно.

З профілограми органолептичних показників модельних зразків соняшникової халви з різним вмістом БЖС (рис. 9) видно, що використання БЖС в складі соняшникової халви несе істотний вплив на такі органолептичні показники як смак і запах, які у дослідних зразків з вмістом БЖС 10 і 20 % вищі, ніж у контрольного зразка. Подальше збільшення вмісту БЖС – понад 20 % – приводить до появи «борошнистого» присмаку і «рибного» запаху подрібненого лляного насіння. Таким чином, виходячи з результатів сенсорної оцінки, обрана ефективна концентрація БЖС в соняшниковій халві на рівні 20%.

Результати визначення фізико-хімічних показників якості модельних зразків халви (табл. 4) свідчать, що при додаванні в цей кондитерський виріб 20 % БЖС практично не відбувається змін масових частки вологи, жиру і цукру.

## 7. Висновки

1. Проведеними дослідженнями встановлено вміст токоферолів, а також вільного і зв'язаного сезамолу в насінні кунжуту сортів Ілона, Кадет, Боярин. Визначено, що зразки кунжутного насіння сорту Ілона містять найбільшу кількість вільного і зв'язаного сезамолу (15,3 мг/100 г і 1130 мг/100 г відповідно). Завдяки цьому можна стверджувати, що кунжутне насіння сорту Ілона у складі БЖС буде проявляти вищу здатність до гальмування окислювального псування, тим самим кількість цього виду сировини можна зменшувати. Також встановлено вміст  $\alpha$ -ліноленової кислоти і токоферолів в зразках лляного насіння сортів Південна ніч, Ківіка, Симпатік. Визначено, що лляне насіння сорту Південна ніч містить найбільшу кількість вміст  $\alpha$ -ліноленової кислоти і токоферолів (55,9 % від суми жирних кислот і 40,7 мг/100 г відповідно). Завдяки цьому можна стверджувати, що лляне насіння сорту Південна ніч у складі БЖС буде нести більшу біологічну цінність.

2. Отримано математичну залежність періоду індукції окиснення ліпідів зразків кунжутного насіння від вмісту сезамолу зв'язаного (сезамоліну) в інтервалі 880...1130 мг/100 г і масової частки вологи в інтервалі 4,0...12,0 %. Ця залежність показує, що завдяки механізму гідролізу сезамоліну з виділенням антиоксидантів

сезамолу та саміну фактор підвищеної вологості БЖС (з 4 % до 9,5 %) призводить до збільшення періоду індукції окиснення ліпідів продукту. При подальшому підвищенні вологості описана закономірність не спостерігається, що говорить про перевагу процесів гідролізу триацилгліцеринів і окиснення вільних жирних кислот.

3. Отримано математичну залежність періоду індукції окиснення ліпідів зразків БЖС спеціального призначення від вмісту в ній сезамолу вільного в інтервалі 0,00...7,65 мг/100 г та  $\alpha$ -ліноленової кислоти в інтервалі 0,1...55,9 % від суми жирних кислот. Розрахована залежність доводить можливість спрямованого регулювання процесу окисного псування за допомогою корегування даних факторів, що, в свою чергу, має значно спростити обрання раціональних умов зберігання БЖС спеціального призначення з заданим складом  $\omega$ -3 жирних кислот. Обрано раціональні концентрації біологічно активних сполук: вміст  $\alpha$ -ліноленової ПНЖК 20...23 % від суми жирних кислот, сезамолу вільного – 10...12 мг/100 г, сезамолу зв'язаного (сезамоліну) – 740...890 мг/100 г.

4. Науково обґрунтовано рецептуру соняшникової халви з додаванням БЖС спеціального призначення. Визначено, що БЖС сприяє збільшенню стабільності до окисного псування соняшникової халви, і при додаванні у кількості до 20 % позитивно впливає на такі органолептичні показники як смак і запах. Визначено органолептичні та фізико-хімічні показники розробленого кондитерського виробу (масова доля вологості – 3,15 %, масова доля жиру – 32,60 %, масова доля загального цукру – 42,30 % у перерахунку на сахарозу), вони знаходяться у рамках, визначених ДСТУ 4188. На основі отриманих результатів можна стверджувати, що досліджений антиоксидантний комплекс кунжуту і виявлені закономірності його стабілізаційної дії є перспективними для олієжирової, харчової промисловості, а також для виробників біологічно активних добавок. Проте необхідно продовження подальших досліджень впливу антиоксидантного комплексу кунжуту на стабілізацію від окисного псування інших лабільних до окиснення біологічно активних речовин.

## Література

1. Omarov, R. S., Antipova, L. V., Konieva, O. N., Meshcheryakov, V. A., Shlykov, S. N. (2018). Biotechnological Aspects In The Development of Functional Food Products. Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences, 9 (3), 751–755.
2. Pogorzelska-Nowicka, E., Atanasov, A., Horbańczuk, J., Wierzbicka, A. (2018). Bioactive Compounds in Functional Meat Products. Molecules, 23 (2), 307. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules23020307>
3. Смоляр, В. І. (2003). Еволюція європейського харчування. Вопросы питания, 6, 15–20.
4. Lin, D., Lu, W., Kelly, A. L., Zhang, L., Zheng, B., Miao, S. (2017). Interactions of vegetable proteins with other polymers: Structure-function relationships and applications in the food industry. Trends in Food Science & Technology, 68, 130–144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.006>
5. Bochkarev, S., Krichkovska, L., Petrova, I., Petrov, S., Varankina, O., Belinska, A. (2017). Research of influence of technological processing parameters of

protein-fat base for supply of sportsmen on activity of protease inhibitors. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (3 (36)), 27–30. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.108376>

6. Wijaya, W., Patel, A. R., Setiowati, A. D., Van der Meeren, P. (2017). Functional colloids from proteins and polysaccharides for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 56–69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.003>

7. Palacios, C. (2006). The Role of Nutrients in Bone Health, from A to Z. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46 (8), 621–628. doi: <https://doi.org/10.1080/10408390500466174>

8. Yogesh, K., Langoo, B. A., Sharma, S. K., Yadav, D. N. (2013). Technological, physico-chemical and sensory properties of raw and cooked meat batter incorporated with various levels of cold milled flaxseed powder. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (3), 1610–1617. doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1185-6>

9. Chen, W., Liang, G., Li, X., He, Z., Zeng, M., Gao, D. et. al. (2019). Effects of soy proteins and hydrolysates on fat globule coalescence and meltdown properties of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 94, 279–286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.045>

10. Некрасова, Т. Э. (2005). Натуральные антиоксиданты для масложировой продукции. *Масла и жиры*, 4, 2–3.

11. Ribeiro, J. S., Santos, M. J. M. C., Silva, L. K. R., Pereira, L. C. L., Santos, I. A., da Silva Lannes, S. C., da Silva, M. V. (2019). Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*, 148, 181–188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.016>

12. Ananieva, V., Krichkovska, L., Belinska, A., Dubonosov, V., Petrov, S. (2016). Research of dry plant concentrates – ingredient of a food health improvement. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 17–24. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2016.000124>

13. Bochkarev, S., Cherevichna, N., Petik, I., Belinska, A., Varankina, O., Zakhozhyi, O. et. al. (2017). Development and research candies with increased biological value with protein-fat composite. *EUREKA: Life Sciences*, 6, 16–21. doi: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2017.00504>

14. Bochkarev, S., Matveeva, T., Krichkovska, L., Petrova, I., Petrov, S., Belinska, A. (2017). Research of the oilseeds ratio on the oxidative stability of the protein-fat base for sportsmen. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (3 (34)), 8–12. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.96665>

15. Wynn, J. P., Kendrick, A., Ratledge, C. (1997). Sesamol as an inhibitor of growth and lipid metabolism in *Mucor circinelloides* via its action on malic enzyme. *Lipids*, 32 (6), 605–610. doi: <https://doi.org/10.1007/s11745-997-0077-1>

16. Белінська, А. П. (2011). Технологія купажованої олії підвищеної біологічної цінності. *Харків*, 21.

17. Palheta, I. C., Borges, R. S. (2017). Sesamol is a related antioxidant to the vitamin E. *Chemical Data Collections*, 11-12, 77–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2017.08.004>